

Orvostovábbképző Intézet MTA Központi Fizikai Kutató Intézete,
SZTA Információközlési Problémák Intézete (Moszkva) és Távköz-
lési Kutató Intézet

A szív elektromos tevékenységének vizsgálata felületi potenciál
térképezési technikával

Préda István, Bukosza István, Kozmann György, Shakin, V. Vszevolod
és Antalóczy Zoltán

Waller 1888-ban ábrázolta elsőként a szív által gerjesztett elektromos potenciálok térképét az emberi mellkas felületén (24), azonban Einthoven zseniális leegyszerűsítései (6) alapján a klinikumban az úgynevezett "dipolaris" EKG rendszerek terjedtek el.

Az utolsó évtized hozta meg az elektrokardiológia ugrásszerű fejlődését, amelyet az elektronika és a számítógépek széles körű elterjedése, valamint a matematika kardiológiai alkalmazása tett lehetővé. A felületi potenciáltérképek regisztrálása több száz pontról, és azok kiértékelése (4), (19), (21), (22) ma már nem költségesebb és nem igényel több időt, mint sok más diagnosztikus vagy kísérletes módszer a modern orvostudományban.

A mellkasi potenciáltérképek kiértékelése során felhalmozódott adatok egyértelműen mutatják, hogy a szív elektromos erőtere a depolarizáció egy jelentős részében nem azonosítható, illetve nem magyarázható egyetlen dipólussal (9), (11), (15), azaz a szív elektromos aktivációja a dipólusnál bonyolultabb multipolaris eredetre vezethető vissza. Mindezek alapján az Einthoven hypothesisén (6) alapuló bármely klinikai vagy experimentális következtetés sem egyértelmű, mivel az információk jelentős része a különböző irányú vektoriális erők kiegyenlítése következtében rejtve marad (1), (5).

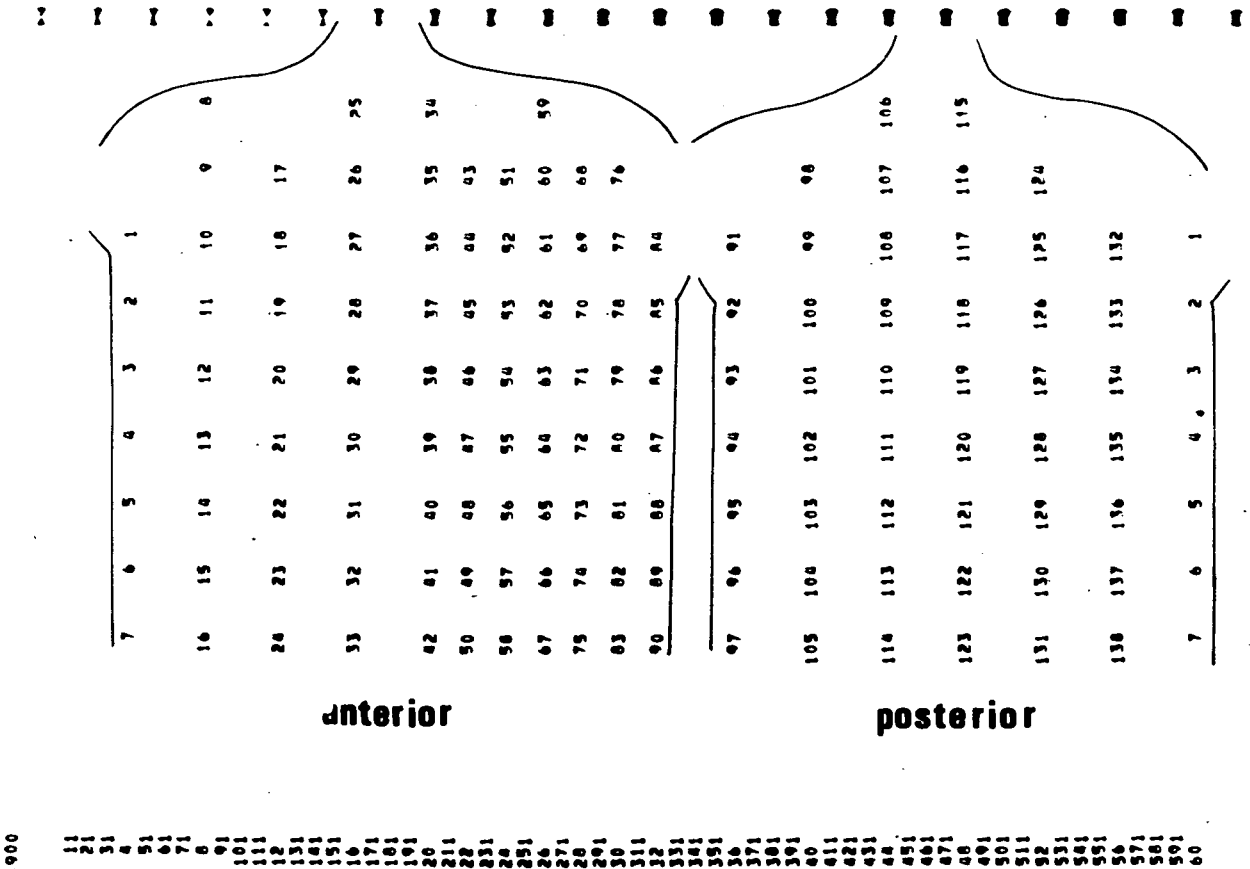
Folyamatban lévő kutatásaink egyik célja a felületi térképezés (surface mapping) technikával nyert mérési adatok potenciál-térképek

formájában való ábrázolása, illetve annak kidolgozása, hogy a felületi potenciálok integrálásával nyerhető ekvivalens helyettesítő képletekkel miként jellemezhető a szív mint elektromos generátor. Jelen munkánkban egészséges egyénekben szerzett tapasztalatainkról számolunk be.

Vizsgálati módszerek

A méréseket 10 egészséges, fekvő testhelyzetű fiatal férfin végeztük. A 12 elvezetéses konvencionális elektrokardiogram és az orthogonális (Frank) elvezetések valamennyi esetben normálisak voltak.

A felületi potenciál térképezéshez a mellkas anatómiailag meghatározott 138 pontjáról (1. ábra) unipolaris mellkasi elektrokardiogramot vettünk fel a standard II. referencia elektrokardiogrammal párhuzamosan. Az elektromos jeleket 4 csatornás analóg FM (RACAL



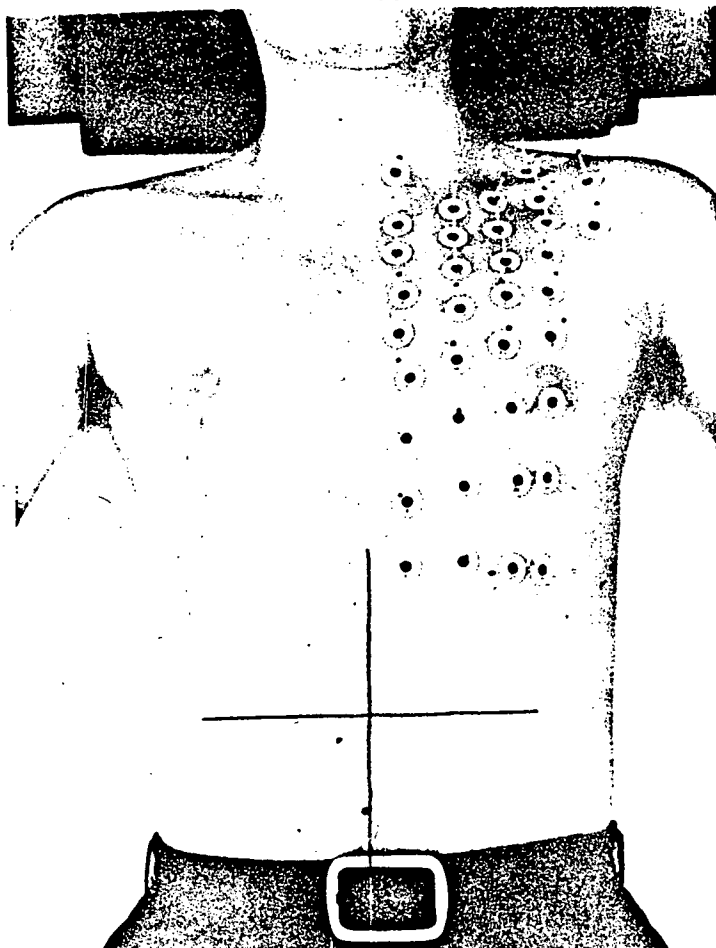
1. ábra

store 4) mágneses jeltárolón rögzítettük, további feldolgozásra csak a teljesen zaj- és műtermékektől mentes, az expirációs fázis végén nyert jelek kerültek. Az analóg jelek multiplikálása után az A/D konverzió, valamint a jelek lyukszalagra rögzítése egy csatornára vonatkoztatva 2,5 msec mintavételi gyakorisággal történt, a szalag 8 lyukcsatornája 256 feszültségszint megkülönböztetését tette lehetővé. A digitális jelek további feldolgozása R-10 számítógéppel történt, a referencia QRS komplexus 40 időpillanatának megfelelően a sornyomtató a mért 138 pont feszültségértékeit adta meg, illetve a program továbbfejlesztése során a szív elektromos mezejét szintvonalak formájában ábrázolta (2. ábra). A térképek manuális szerkesztése során felkerestük a legnagyobb és legkisebb potenciálértéket vagy értékeket (maximum és minimum), valamint az egyenlő potenciál-értékek alapján izopotenciálvonalakat szerkesztettünk (13).

A potenciáltérkép végleges formájában tehát a mellkas megfelelő felületein maximumot vagy maximumokat, minimumot vagy minimumokat és equipotenciál-vonalakat tartalmaz. "Maximumon" tágabb értelemben az epicardium felől kifelé irányuló eredő elektromos térerőt értjük, míg a "minimum" a szív belseje felé irányuló eredő elektromos térerőt jelzi (21), (23).

Az ekvivalens helyettesítő képletek számítása céljából a 138 mellkasi elektróda térkoordinátáinak meghatározását fényképfelvételek útján a topográfiában használatos számítógéppel segített eljárással végeztük (3. ábra). A szív elektromos centrumát (a Descartes-i koordináták origóját) a frontális és szagittális síkban radiológiai módszerrel lokalizáltuk. A felületi pontok alapján a mellkas felszínén 274 háromszöget képeztünk, s felületi pontok térkoordinátái alapján meghatároztuk ezek pontos helyzetét, nagyságát és orientációját. A továbbiakban Gábor és Nelson (8) egyenletei szerint felületi integrálok képzésével meghatároztuk az ekvivalens dipolus és quadrupolus momentumok jellemzőit a QRS komplexus 40 időpillanatában.

(NEGATIVE PAGES OVERPRINTED BY SIGN -)

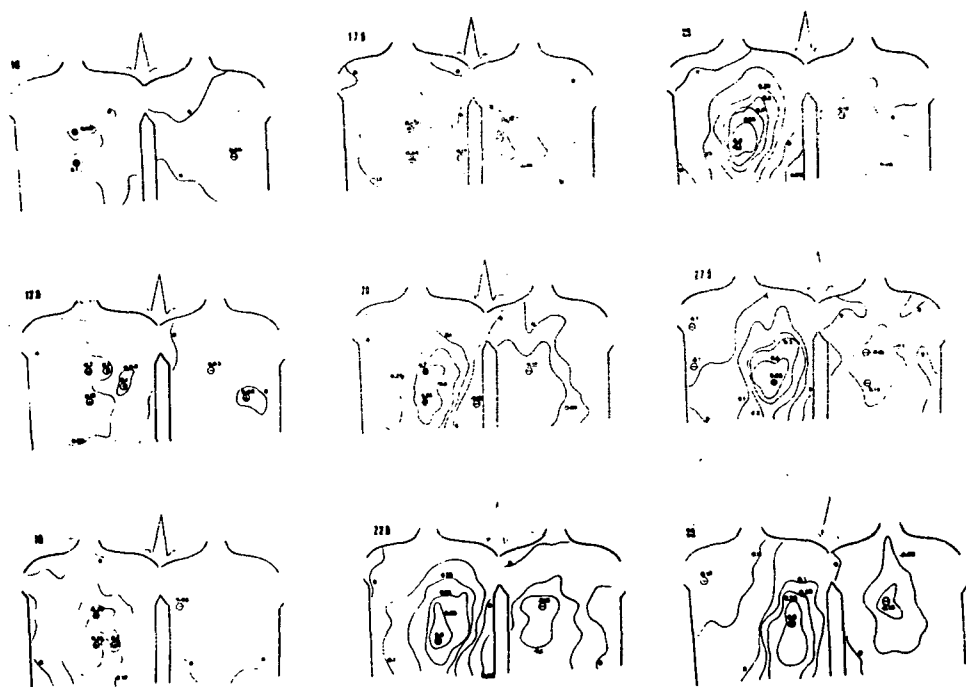


3. ábra

Vizsgálati eredmények

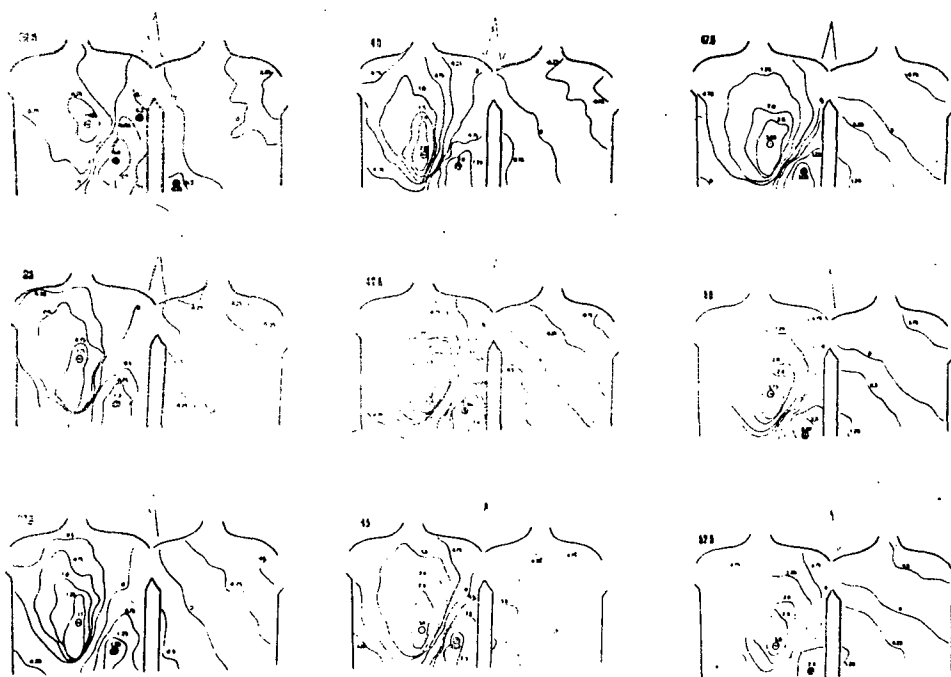
A felületen mért feszültség-adatok alapján szerkesztett potenciál-eloszlási térképeket a QRS komplexus 27 időpillanatában mutatjuk be (4. - 6. ábra). A potenciál-megoszlás folyamatos változásait a kamrai aktiváció ismert adataival vetettük össze, és az egyes konfigurációk értelmezését is ennek megfelelően adjuk meg.

10-15 msec : A kamrai aktiváció kezdete után két, körülbelül hasonló nagyságú maximum (0,08 és 0,1 mV) jelenik meg a mellkas elülső felszínén, míg a mellkas hátsó felszínén egy minimum (0,05 mV) látható. A depolarizáció ezen időpillanata megfelel a septum balról-jobbra történő aktivációjának, ami a potenciál-térképek legkorábbi anterior maximumát hozza létre (21), néhány



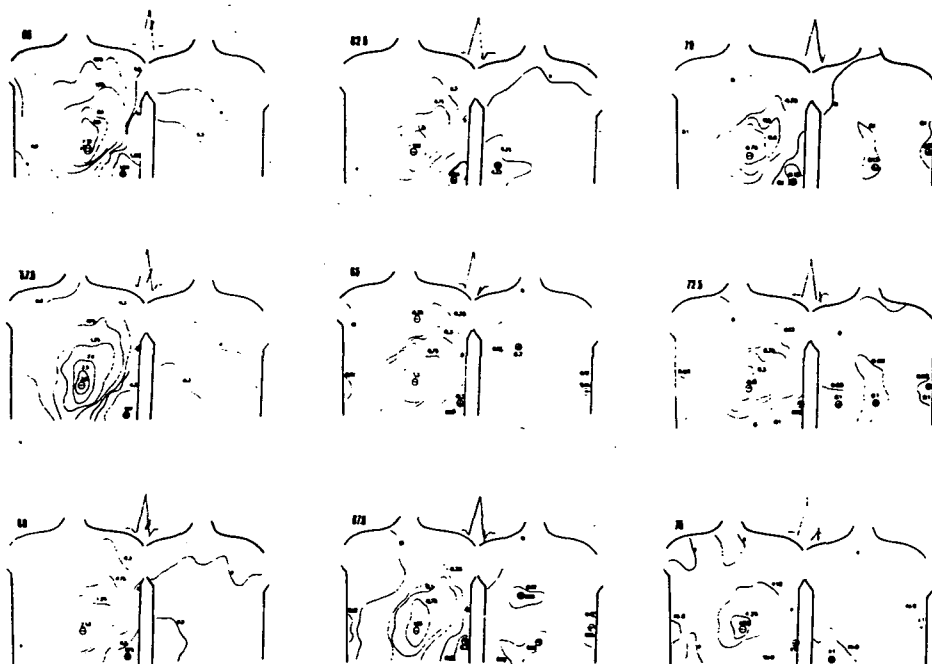
4. ábra

msec-mal később a septum jobb és bal oldalán két különálló aktivációs hullám alakul ki, mely a mellő maximum kettőződését okozza. A bemutatott térképeken a továbbiakban a depolarizációs hullám (maximum) voltértéke növekszik, egyidőben 4, illetve 3 pozitív csúcspont észlelhető a sternum középvonalában, ami a depolaris megközelítés helyett alapvetően a szívnek, mint generátornak multipolaris jellegét igazolja.



5. ábra

17,5 - 27,5 msec: a septalis maximum nagysága és területe tovább növekszik, azaz a korábban többszörös extrémák egyetlen pozitív hullámban olvadtak össze. A 27,5 msec-ban a mellkas jobb oldali felső része fokozatosan negatívvá válik, ami megfelel az aktiváció szívcsucs felé irányuló rotációs mozgásának (12).



6. ábra

30-35 msec: A mellkas felső felszínén megjelent minimum voltértéke fokozatosan növekszik, majd a 32,5 msec-ban a kamrai aktiváció jellegzetes történése, amikor is két maximum (0,3 és 0,8 mV) egy balra és előre törő minimumot (-0,6 mV) fog közre. A potenciál-megoszlás fenti "nyereg" (21), vagy "pseudopodium" (4) konfigurációja klasszikusan ismert és megfelel az aktivációs hullám jobb kamrai epicardialis potenciál-áttörésének (16). A pozitív hullám-

mok a jobbra és balra terjedő depolarizáció megvalósulását mutatják, míg a negatív area egy már teljesen depolarizált területet jelez (17), (21).

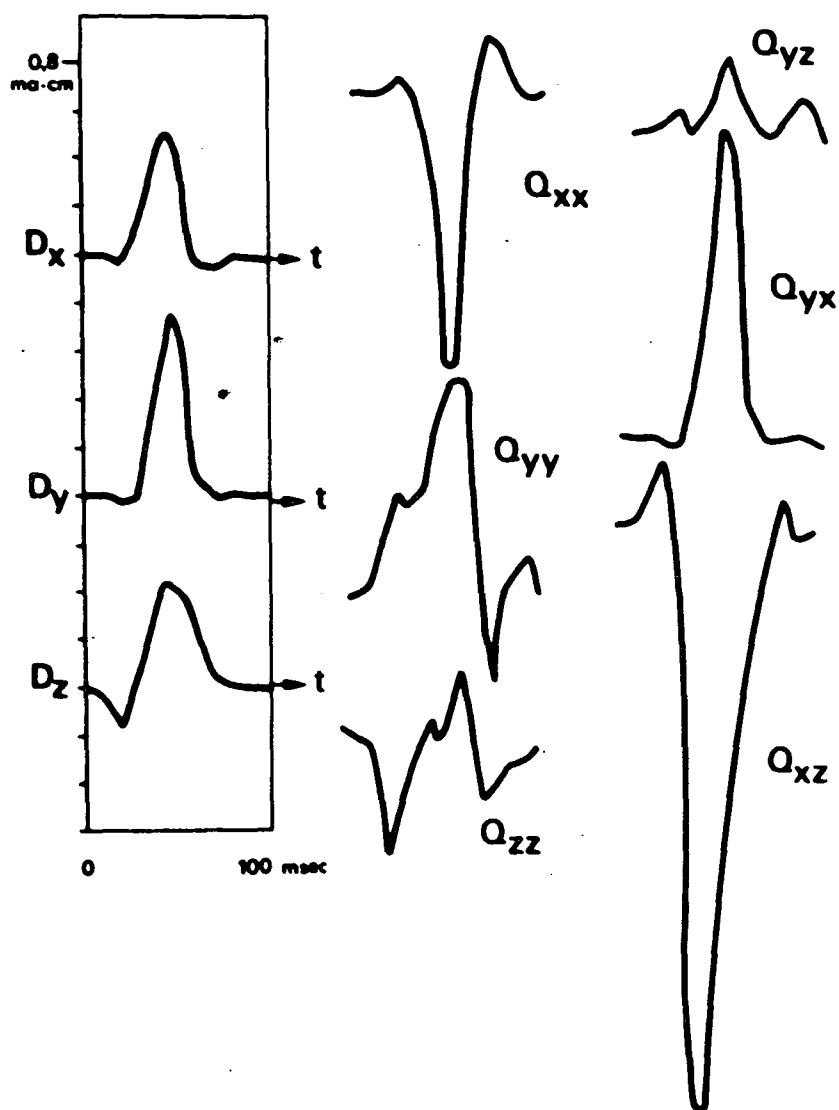
37,5-57,5 msec: A mellkasi negatív area - azaz a már teljesen depolarizált terület nagysága - rohamosan növekszik, míg az aktivációs hullám (maximum) balra, lefelé és laterálisan helyeződik át, mutatva a bal kamrai izomzat apicalis és lateralis részeinek fokozatos ingerületbe kerülését. A 47,5 msec-ban a referencia maximális QRS amplitudójának megfelelően a potenciál-megosztási térképeken ábrázolt kép tipikusan dipoláris karakterű, a mellkas mellső felszínének bal alsó felén elhelyezkedő maximummal (3,05 mV) szemben egy minimum (-3,65 mV) helyezkedik el.

60-75 msec: A depolarizációs hullám balra és hátrafelé terjed, ingerületbe hozza a bal kamra basalis részét. Az aktiváció terjedésének ez az iránya érthetővé teszi, hogy újabb maximum, vagy maximumok a mellkas hátsó felszínén alakulnak ki, míg a szív (igya mellkas) mellső felszíne fokozatosan egyre negatívabbá válik (2), (14), (18). A 72,5 msec-ban a legkésőbb ingerületbe jövő posterobasalis és postero-septalis területek excitációjának tipikus felületi hatásai figyelhetők meg, azaz a háton három gyenge maximum észlelhető (a szív excentrikus elhelyezkedése miatt a háti maximumok amplitudója kisebb), míg a mellkas mellső felszínén a depolarizáció gyakorlatilag befejeződött, azaz a felületen mért potenciál mindenütt negatív.

A bemutatott felületi potenciálértékek alapján Gábor és Nelson (8) egyenleteiből számított dipolus és quadropolus momentumokat ábrázolja a 7. ábra. A dipolus momentumok komponensei formailag hasonlóak a direkt uton regisztrált dipoláris vektor-komponensekhez (orthogonális X, Y, Z elvezetések), szembevetendő különbség csak a Q és S hullámok területén látható, azaz a kamrai aktiváció jellegzetesen multipoláris időpillanataiban. A quadropolus komponensek morfológiája jóval bonyolultabb, ami főként a depolarizáció multipoláris jellegű időpillanataiban nyilvánvaló.

Eredmények megbeszélése

Elsőként Mauro (10) igazolta, hogy kutyán a felületi potenciál-értékek számításaiból nyert "elektromos mező" nem rekonstruálható az



7. ábra

Einthoven-féle 3 elvezetésből, azaz nem magyarázható az "egyetlen dipolus" hypothesis alapján. Kísérletes körülmények között a szív közvetlen közelében nyert potenciálértékek megoszlása rendkívül bonyolult, többszörös potenciál-maximumok és minimumok találhatók (20) azonban a mellkas felületén is ugyanazok a lényeges maximumok és minimumok lelhetők fel, mint az epicardium felszínén (3), (12), (14). Mindezek alapján elméletileg lehetőség nyílik a

mellkas felszínén mért potenciálok összességéből az epicardialis potenciálmegoszlás pontos számítógépes analizisére, (7) ami a klinikai elektrokardiográfia robbanásszerű fejlődését eredményezheti.

A felületi térképezési technika kétségtelenül nagy jövő előtt áll, alapvető problémát jelent azonban a pathológiás esetekre jellemző konfigurációk felismerése és klinikai felhasználása.

A Gábor és Nelson (8) alapján bemutatott multipolaris ekvivalens számítások és információk számítógépes tárolásának és kiértékelésének hasznos módját képezhetik, és véleményünk szerint lehetőséget nyújtanak a dipolaris EKG rendszereknél fejlettebb és információkban gazdagabb multipolaris elektrokardiológiai számítógépes diagnosztika kifejlesztésére.

Ábramagyarázat

1. A felületi potenciálértékek regisztrálására szolgáló anatómiailag meghatározott pontok a mellkas elülső és hátsó felszínén.
2. Sornyomtatóval készült számítógépes adatlap, amelyen a szív elektromos erőterének a mellkas felszínén mért adatait szintvonalak formájában ábrázoltuk.
3. Azoknak a mellkasi pontoknak térkoordinátáit, ahonnan felületi potenciálokat mértünk, kétirányú fényképfelvételek segítségével határoztuk meg.
4. A kamrai aktiváció első harmadában rögzített és 2,5 msec-ként ábrázolt potenciál-megoszlási térképek. Az aktiváció időpillanatait msec-ban, valamint a referencia QRS komplexuson jeleztük.
5. A kamrai aktiváció második harmadában rögzített és 2,5 msec-onként ábrázolt potenciál-megoszlási térképek. Az aktiváció időpillanatát msec-ban, valamint a referencia QRS komplexuson jeleztük.

6. A kamrai aktiváció harmadik harmadában rögzített és 2,5 msec-onként ábrázolt potenciál-megoszlási térképek. Az aktiváció időpillanatát msec-ban, valamint a referencia QRS-komplexuson jeleztük.
7. A mellkas felületén mért potenciál-értékekből Gábor és Nelson egyenletei alapján számított dipolus és quadropolus momentumok grafikus ábrázolása a QRS-komplexus időtartama alatt.

Irodalom

- (1) Abildskov, J.A., Klein, B.A.: Cancellation of electrocardiographic effects during ventricular excitation. *Circulation Res.* 11:247, 1968.
- (2) d'Alché, P., Ducimtiere, P., Lacombe, J.: Computer model of cardiac potential distribution in an infinite medium and on the human torso during ventricular activation. *Circulat. Res.* 34:719, 1974.
- (3) Barr, R.C., Spach, M.S.: A comparison of measured epicardial potentials with epicardial potentials computed from body surface measurements, in the intact dog. *Advances in Cardiol.* Vol. 20. Karger, Basel, 1977. (Közlés alatt.)
- (4) Boineau, J.P., Spach, M.S., Pilkington, J.C., Barr, R.C.: Relationship between body surface potential and ventricular excitation on the dog. *Circulat. Res.* 19:489, 1966.
- (5) Boineau, J.P.: Correlations of body surface potentials with the heart potentials. *Advances in Cardiol.* Karger, Basel, Vol. 10:139, 1974.
- (6) Einthoven, W.: Über die Deutung des EKG. *Plüger's Arch. ges. Physiol.* 149:65, 1912.
- (7) Franzone, P.C., Taccardi, B., Viganotti, C.: An approach to inverse calculations of epicardial potentials from body surface maps. *Advances in Cardiol.* Karger, Basel, Vol 20:, 1977. (Közlés alatt)

- (8) Gábor, D., Nelson, C.V.: Determination of the resultant dipole of the heart from measurements on the body surface. *J. Appl. Physiol.* 25: 413, 1954.
- (9) Horan, L.G., Flowers, N.C.: VCG sensitivity to dipole content in body surface potential maps. *Advances in Cardiol.* Karger, Basel, Vol.10:171, 1974.
- (10) Mauro, A., Nahum, L.H., Sikand, R.S., Chernoff, H.: Equipotential distribution for the various instants of the cardiac cycle on the body surface of the dog. *Amer. J. Physiol.* 168:584, 1952.
- (11) Miller, C.B., Horan, L.G., Flowers, N.C.: Approximation of dipole content in the total body surface ECG. *Advances in Cardiol.* Karger, Basel Vol.10:167, 1974.
- (12) Préda, I.: Le champ électrique cardiaque du chien en hypothermie. These doctorat de Université, Caen, 1975.
- (13) Préda, I.: Hypothermis hatása a szív elektromos tevékenységére és catecholamin anyagcseréjére. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1975.
- (14) Préda, I., d'Alché, P.: Kísérletes vizsgálatok a kutyaszív multipolaris elektromos erőterének hullámterjedési sajátosságairól. *Cardiol. Hung.* 1976. (Közlés alatt)
- (15) Préda, I., Shakin, V.V., Bukosza, I., Csapodi, Cs., Antalóczy, Z.: Quantitative comparison of the dipolar and multipolar content of potential surface maps. *Advances in Cardiol.* Karger, Basel, Vol.20, 1977. (Közlés alatt)
- (16) Schaeffer, H., Trautwein, W.: Über die elementare elektrischen Prozesse in Herzmuskel und ihre Rolle für eine neue Theorie des Elektrokardiogramm. *Plügers Arch. ges. Physiol.* 251:417, 1949.
- (17) Sher, A.M., Young, A.C.: Pathway of ventricular depolarization in the dog. *Circulat. Res.* 4:461, 1956.

- (18) Spach, M.S., Silberger, W.P., Boineau, J.P., Barr, R.C., Long, E.C., Gallie, T.M., Gabor, J.B., Wallace, A.G.: Body surface isopotential maps in normal children below 14 years. *Amer.Heart. J.* 72:640, 1966.
- (19) Spach, M.S., Barr, R.C., Blumenschein, S.D., Boineau, J.P.: Clinical implications of isopotential surface maps. *Ann. Intern. Med.* 69: 919, 1968.
- (20) Taccardi, B.: Distribution spatiale des potentiels cardiaques. *Acta Cardiol. (Brux.)* 13:173, 1958.
- (21) Taccardi, B.: Distribution of heart potentials on dog's thoracic surface. *Circulat. Res.* 11:862, 1962.
- (22) Taccardi, B.: Distribution of heart potentials on the thoracic surface of normal human subjects. *Circulat. Res.* 12:341, 1963.
- (23) Taccardi, B.: Multipolar distribution of cardiac potentials in body surface mapping. Manning, G.W. és Ahuja, S.P.: *Electrical activity of the heart*, Thomas Springfield, 1: 1137, 1969.
- (24) Waller, A.D.: The electromotive properties of the human heart. *Brit. Med. J.* 11: 751, 1888.